

ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO EN  
CONFIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO “PROMETHEUS”  
DE LA PLATAFORMA SAP EN EL TREN DE LAMINACIÓN 2 PARA LA  
EMPRESA GERDAU DIACO S.A. PLANTA TUTA.

MILTON GIUSEPPE RINCON CHAPARRO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
DUTAMA  
2017

ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO EN  
CONFIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO “PROMETHEUS”  
DE LA PLATAFORMA SAP EN EL TREN DE LAMINACIÓN 2 PARA LA  
EMPRESA GERDAU DIACO S.A. PLANTA TUTA.

MILTON GIUSEPPE RINCON CHAPARRO  
Código: 200810289

Trabajo presentado en la Modalidad de Monografía para optar al Título de  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Director:  
Ing. ORLANDO DÍAZ PARRA  
DOCENTE UPTC

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
DUITAMA  
2017

## RESUMEN

La presente monografía desarrolla el plan de mantenimiento basado en RCM del tren 2 de laminación de la planta Tuta de Gerdau Diaco. Necesidad que surgió después de la implementación de un nuevo software para la gestión de mantenimiento, SAP, y su módulo para mantenimiento el cual generó inconvenientes en cuanto a la planificación, ejecución y reporte de tareas, inconvenientes que evidenciaron el hecho de que la estructura de los planes de mantenimiento no era la adecuada para el óptimo aprovechamiento de las características de la nueva plataforma para la gestión del mantenimiento.

Con este trabajo se desarrollaron nuevos planes de mantenimiento que recogieron las buenas prácticas que ya se implementaron, y adicionaron nuevos procedimientos que atendieron las falencias ya evidenciadas, en búsqueda de ser más asertivos en la ejecución y planeación del mantenimiento preventivo. Se revisaron los indicadores de gestión para realizar seguimiento a los procesos ejecutados y motivar la mejora continua.

Con esto se logró tener una mejor planeación del mantenimiento, un mejor seguimiento a los trabajos, y reducir actividades innecesarias que entorpecían la ejecución del mantenimiento, además de permitir la posibilidad de la ejecución del mantenimiento en paradas cortas mejorando la disponibilidad de los equipos.

**PALABRAS CLAVE:** CONFIABILIDAD, EVALUACIÓN DE CRITICIDAD, GERDAU DIACO, LAMINACIÓN EN CALIENTE, MANTENIMIENTO, SAP.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, mi madre, mi padre, mis hermanos Harol y Érika, son mi fuente de fortaleza e inspiración, he crecido como ser social gracias a su constante trabajo y asertivos consejos.

A Carlos, David, Eduardo, Pablo, Pedro, Ricardo y Silverio por haberme brindado su apoyo tanto académicamente como emocionalmente, este proceso no habría sido posible sin su vital apoyo y esfuerzo, las palabras no bastan para expresarles lo infinitamente agradecido que estoy con ustedes.

A mi director, Orlando Díaz Parra, su conocimiento y experiencia reflejado en este trabajo, sin duda alguna todos los aciertos de este trabajo son gracias sus críticas y consejos, y los errores (si es que los hay), son de mi entera responsabilidad.

A la escuela de Ingeniería electromecánica, por brindarme la oportunidad de tener educación de calidad bajo fuertes parámetros de exigencia y calidad. A mis profesores, quienes son ejemplo de rectitud, responsabilidad y excelencia. Gracias por haberme aconsejado en mi crecimiento profesional y personal.

A todo el personal de mantenimiento de Gerdau Diaco, en especial a Danilo, Fabio, Juan Carlos, Luis Alfredo, Rodrigo, Wilfredo, Yefer M., Yefer V. y a Raúl Sandoval, por darme la oportunidad de desarrollar este importante trabajo, aprender de ustedes, brindarme su amistad y apoyo en las situaciones difíciles que surgieron.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MANTENIMIENTO EN LA PLANTA DIACO TUTA	3
2.1 ORGANIZACIÓN	3
2.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	3
2.2.1 Ciclo PHVA de las acciones de mantenimiento	3
2.2.2 Sistema integrado de mantenimiento	4
2.2.3 GBS de mantenimiento	6
2.2.4 Funcionamiento del área de mantenimiento laminación	8
2.4 Análisis DOFA área de mantenimiento	9
2.4.2 Conclusiones análisis DOFA	10
3. APLICACIÓN DE RCM	12
3.1 EVALUACIÓN DE CRITICIDAD EQUIPOS TREN 2	12
3.2 ¿QUÉ ES RCM?	20
3.3 PREGUNTAS QUE SE BUSCA RESPONDER CON EL RCM	22
3.4 METODOLOGÍA DEL RCM	22
3.4.1 Fase 0: listado y codificación de equipos	22
3.4.2 Fase 1: descripción de funciones de los activos físicos	25
3.4.3 Fase 2: determinación de las fallas funcionales y técnicas	25
3.4.4 Fase 3: análisis de modos y efectos de falla	26
3.4.5 Hoja de información del RCM	26
3.4.7 Determinación de las tareas proactivas	29
3.4.8 Agrupación de las medidas preventivas	31
4. LISTADO DE REPUESTOS CRÍTICOS	38
5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO	40
5.1 INDICADORES DE MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL	40
5.1.1 Tiempo medio entre fallas	40
5.1.2 Tiempo medio de reparación	41
5.1.3 Disponibilidad Total	41

5.2	INDICADORES DE GESTIÓN DE ÓRDENES DE TRABAJO	41
5.3	ÍNDICES DE PROPORCIÓN DE TIPO DE MANTENIMIENTO	43
5.4	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	43
6.	CONCLUSIONES	47
7.	RECOMENDACIONES	48
8.	LOGROS	49
9.	BIBLIOGRAFÍA	50

## ANEXOS

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Organigrama de mantenimiento	4
Figura 2: Pilares del sistema de mantenimiento integrado	7
Figura 3: Metodología para la implementación del RCM	13
Figura 4: Equipos con mayor tiempo de paradas mecánicas	19
Figura 5: Equipos con mayor tiempo de paradas eléctricas	19
Figura 6: Resultados análisis de criticidad	20
Figura 7: Diagrama de árbol ubicaciones técnicas	24

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Análisis DOFA área de mantenimiento	11
Tabla 2: Criterios evaluación de criticidad	14
Tabla 3: Estadística de fallas mecánicas	15
Tabla 4: Estadística de fallas mecánicas (continuación)	16
Tabla 5: Estadística de fallas eléctricas	17
Tabla 6: Estadística de fallas eléctricas (continuación)	18
Tabla 7: Análisis de criticidad horno (fragmento)	21
Tabla 8: Hoja de información RCM Horno	27
Tabla 9: Categorías de frecuencia	28
Tabla 10: Categorías de consecuencia	28
Tabla 11: Matriz de riesgo para RCM II	29
Tabla 12: Clasificación de criticidad	29
Tabla 13: Hoja de decisión RCM lanza deshornadora (fragmento)	32
Tabla 14: Calendario mantenimiento eléctrico horno (fragmento)	37
Tabla 15: Listado de repuestos críticos mecánicos horno	39
Tabla 16: Formato para registro de fallas	44
Tabla 17: Formato para indicadores de clase mundial	45
Tabla 18: Formato para indicadores de gestión OT	46
Tabla 19: Formato para índices de proporción tipo de mantenimiento	46

## ANEXOS

ANEXO A: Esquema tren de laminación 2 Gerdau Diaco planta Tuta

ANEXO B: Tabla de análisis de equipo critico

ANEXO C: Listado de ubicaciones técnicas

ANEXO D: Hojas de información de RCM

ANEXO E: Diagrama de decisión RCM

ANEXO F: Hojas de decisión de RCM

ANEXO G: Estrategias de mantenimiento y calendarios

ANEXO H: Listado de repuestos críticos

ANEXO I: Formatos de cálculo indicadores de mantenimiento



Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Dr. Mont. Carlos Guillermo Carreño Bodensiek

---

Ing. Luis Alfonso Jiménez Rodríguez

---

Ing. Orlando Suárez Núñez

Duitama 17 de Octubre de 2017

## 1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es de vital importancia para la conservación de los equipos en óptimo estado y asegurar el cumplimiento de las metas de producción en las empresas. Con el desarrollo de la industria, las estrategias y herramientas de mantenimiento han evolucionado con el fin de ser más efectivas en el cumplimiento de sus objetivos, asegurando el funcionamiento continuo de los activos, reduciendo costos de reparación de los equipos y mejorando la seguridad al medio ambiente y las personas.

En Gerdau Diaco planta Tuta se ha implementado la plataforma SAP (del Alemán Systeme, Anwendungen, Produkte, en español, Sistemas, Aplicaciones y Productos) y su módulo de mantenimiento Prometheus, el cual por sus características ha generado múltiples problemas con la ejecución y planificación del mantenimiento, entre los cuales se encuentran el incumplimiento de las ordenes de mantenimiento y la falta de reportes de tareas, lo cual impide el correcto seguimiento del rendimiento de las estrategias actualmente utilizadas.

Por esto es necesario el desarrollo de un nuevo plan que satisfaga todas las necesidades que requiere la empresa, teniendo en cuenta las debilidades y fortalezas de los recursos que maneja, con el fin de elevar la eficiencia de la producción, atendiendo los equipos críticos, reduciendo los costos de producción y mantenimiento y brindando las herramientas necesarias para poder realizar seguimiento a la ejecución de las tareas, para tener la información necesaria y realizar los cambios y mejoras en la forma en la que se ejecuta el mantenimiento.

Este nuevo plan de mantenimiento se desarrolló siguiendo la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) para atender los principales y más relevantes modos de falla evaluando su impacto en la operación.

Para ello se realizó en primera instancia un levantamiento de los equipos asociados a la línea de producción, evaluando su impacto cuándo sucede la falla, con el fin de determinar su prioridad en la ejecución de las tareas de mantenimiento. Luego se realizó un análisis de los modos y efectos de fallas de los activos con el fin de proponer actividades proactivas que mitiguen la frecuencia en la que ocurren teniendo en cuenta el impacto que estos modos de falla generan en aspectos como la seguridad, la producción y el medio ambiente.

Los planes de mantenimiento se realizaron teniendo en cuenta las características funcionales de SAP, por lo que las tareas propuestas se formalizaron en un formato de carga masiva, con los requisitos de forma requeridos para ello, permitiendo

visualizar de forma más ágil y efectiva la proyección del tiempo empleado para la ejecución de los planes desarrollados.

Para llevar a cabo correctamente las actividades de mantenimiento preventivo planteadas en este trabajo, se realizó la actualización del listado de equipos críticos de los equipos, para asegurar la correcta disposición de los repuestos más importantes para la conservación del estado de los equipos y reducir los tiempos muertos de producción por falta de repuestos.

Realizar labores de seguimiento a los planes de mantenimiento desarrollados en este proyecto es de suma importancia, así pues, se plantearon diferentes indicadores, los cuales brindan la información necesaria para evaluar la efectividad de los planes desarrollados en este trabajo, su reporte y cumplimiento. El seguimiento a estos indicadores sirve como herramienta de decisión en la definición de nuevas estrategias de mantenimiento.

Finalmente, es de aclarar que el anexo A, esquema tren de laminación 2 Gerdau Diaco planta Tuta, es el único que se encuentra impreso, mientras que los referidos a continuación:

- Anexo B: Tabla de análisis de equipo crítico
- Anexo C: Listado de ubicaciones técnicas
- Anexo D: Hojas de información de RCM
- Anexo E: Diagrama de decisión RCM
- Anexo F: Hojas de decisión de RCM
- Anexo G: Estrategias de mantenimiento y calendarios
- Anexo H: Listado de repuestos críticos
- Anexo I: Formatos de cálculo indicadores de mantenimiento

Se encuentran documentados en el archivo digital compilado en el CD-ROM que se anexa al siguiente proyecto.

## **2. MANTENIMIENTO EN LA PLANTA DIACO TUTA**

En este capítulo se cuenta la forma en la que Gerdau Diaco plantea y desarrolla su estrategia general de mantenimiento, su organización, política y metodología, así como su situación actual y un análisis de sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.

### **2.1 ORGANIZACIÓN**

En Gerdau Diaco planta Tuta, el mantenimiento se ejecuta desde cada área de la empresa (por ejemplo mantenimiento de laminación), pero se programa desde Mantenimiento Central.

El equipo de mantenimiento laminación está compuesto por 19 personas, de los cuales 10 son técnicos de mantenimiento mecánico, 6 de mantenimiento eléctrico y 2 de electrónico, además de un ingeniero facilitador. Por su parte, mantenimiento central está compuesto por 10 personas: el facilitador de ingeniería, dos programadores de mantenimiento, un técnico de mantenimiento predictivo, 4 operarios de máquinas y herramientas, un proyectista y un gestor de mantenimiento, tal como se muestra en la figura 1.

### **2.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO**

Las funciones de mantenimiento actualmente se realizan en base al plan de mantenimiento implementado desde el año 2002 y. En este plan están controladas las rutinas de mantenimiento eléctrico, mecánico, predictivo y las rutas de lubricación. Las actividades de mantenimiento están estructuradas para cumplir el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) o de mejora continua.

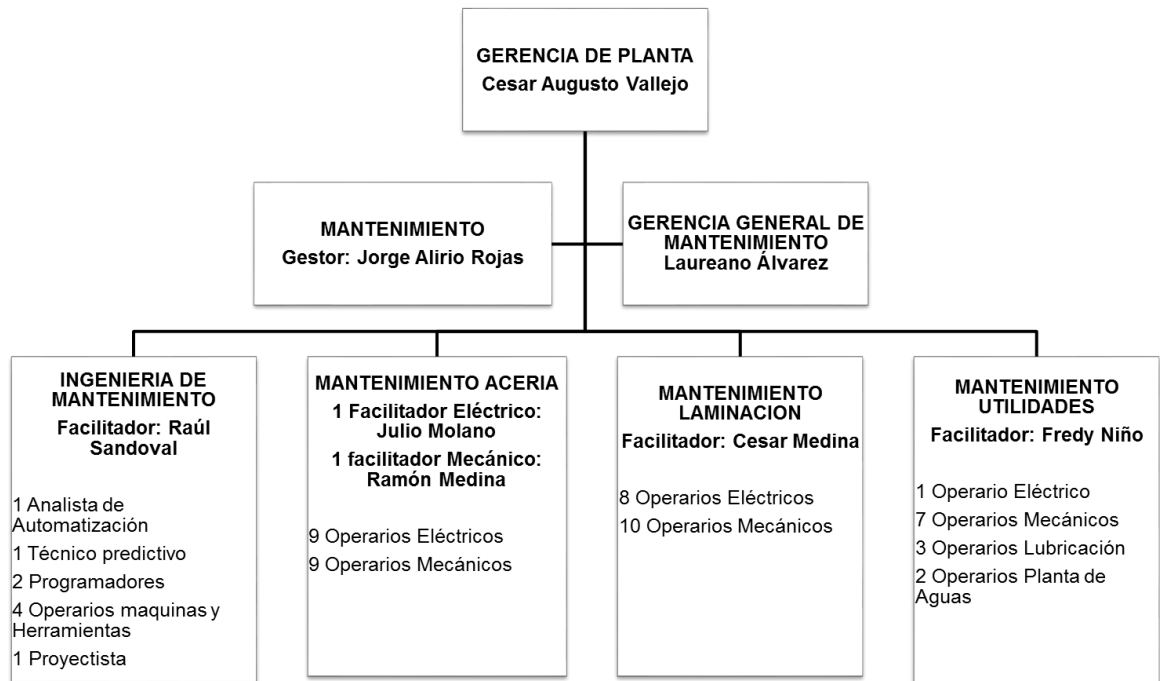
#### **2.2.1 Ciclo PHVA de las acciones de mantenimiento**

Según expone Cano<sup>1</sup>, la práctica de este ciclo en las plantas de Gerdau se realiza de la siguiente manera:

---

<sup>1</sup> CANO SANCHEZ, Oscar. Propuesta para la implementación de RCM en la planta Diaco Muña. Bucaramanga, 2009, 132p. Trabajo de grado (Especialización en gerencia de mantenimiento). Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisiomecánicas.

Figura 1: Organigrama de mantenimiento



Fuente: autor

- Planear: se desarrolla el plan de mantenimiento con la participación de los ingenieros y facilitadores de mantenimiento eléctrico, mecánico y predictivo.
- Hacer: es la ejecución de todas las actividades de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Se realizan análisis de falla para las paradas de mantenimiento que disparen los gatillos que se han establecido con las secciones de Tecnología de Gestión y Gerencia de Planta.
- Verificar: se realiza un seguimiento a los resultados y objetivos y se generan planes de acción en caso de inconformidad con los resultados.
- Actuar: se ejecutan los planes de acción generados, se establecen las acciones para problemas frecuentes cuyos planes de acción no han bloqueado el problema.

### 2.2.2 Sistema integrado de mantenimiento

Es la parte de la alta dirección, cuyo objetivo principal es dar la directriz corporativa de mantenimiento, con el fin de cumplir los objetivos básicos de maximizar la disponibilidad y el desempeño de los equipos y garantizar la

conservación de las instalaciones con un costo razonable. Así, se establece un sistema de gestión de buenas prácticas de mantenimiento que se aplique durante todo el ciclo de vida de los equipos<sup>2</sup>.

El sistema de mantenimiento integrado trabaja con seis pilares inspirados del TPM (mantenimiento productivo total), durante el ciclo de vida útil de los equipos de acuerdo con la figura 2, en la que se muestra:

#### **2.2.2.1 Pilar 1: control inicial**

Se basa en el pilar del TPM llamado prevención del mantenimiento.

“Consiste en realizar actividades de mejora que se hacen durante la construcción, diseño y puesta a punto de la maquinaria para mejorar su funcionamiento basándose en la experiencia con los equipos del mismo tipo”<sup>3</sup>.

#### **2.2.2.2 Pilar 2: educación y fundamentación**

Adaptado del pilar “educación y formación o entrenamiento”, “Este es un pilar que está enfocado al fortalecimiento de las habilidades y capacidades del personal buscando una mayor comprensión y afianzamiento en todos los factores de mejora necesarios (mantenimiento, comunicación, conocimiento del proceso, etc.)”<sup>4</sup>. En la práctica se implementa a través de módulos virtuales de capacitación, cursos y seminarios, tomados con regularidad por el recurso humano de Gerdau Diaco.

#### **2.2.2.3 Pilar 3: el mantenimiento planeado**

Viene del pilar llamado mantenimiento especializado o progresivo. “En este pilar lo que se pretende es mejorar la eficacia del sistema de mantenimiento eliminando los problemas de los equipos a través de acciones de prevención y predicción. Las

---

<sup>2</sup> Ibid., p. 20.

<sup>3</sup> LÓPEZ ARIAS, Ernesto. El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación. Bogotá, 2009, 136 p. Trabajo de grado Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

<sup>4</sup> Ibid., p. 55.

bases de información y los datos que se obtienen de las operaciones realizadas por los equipos y por los estudios de ingeniería de mantenimiento”<sup>5</sup>.

#### **2.2.2.4 Pilar 4: mantenimiento autónomo**

“Aprovecha el conocimiento y contacto que los operarios tienen con los equipos para mantenerlos en condiciones óptimas. Se busca que los operarios por iniciativa propia cuiden, mantengan y conserven la maquinaria en buen estado, es por esto que es necesario una aplicación previa de disciplina 5’s”<sup>6</sup>.

#### **2.2.2.5 Pilar 5: gerenciamiento de datos**

Conocido como TPM en oficinas, Galván<sup>7</sup> explica que este pilar busca conseguir que las áreas de apoyo de las actividades productivas, funcionen de manera eficiente, a bajos costos y con la máxima utilidad.

#### **2.2.2.6 Pilar 6: grandes reformas**

Gerdau Diaco<sup>8</sup> define este pilar como el proceso para mejorar el desempeño de los procesos de mantenimiento mediante la implementación de nuevos procedimientos, tecnologías permitiendo dar un paso adelante en búsqueda de cumplir de la forma más eficiente las metas de producción y conservar los equipos en estado óptimo.

### **2.2.3 GBS de mantenimiento**

Gerdau Business System (GBS) es el sistema de gestión de Gerdau, que consolida y transfiere las mejores prácticas provenientes del aprendizaje continuo en todos sus procesos en todo el mundo a cada una de sus plantas.

---

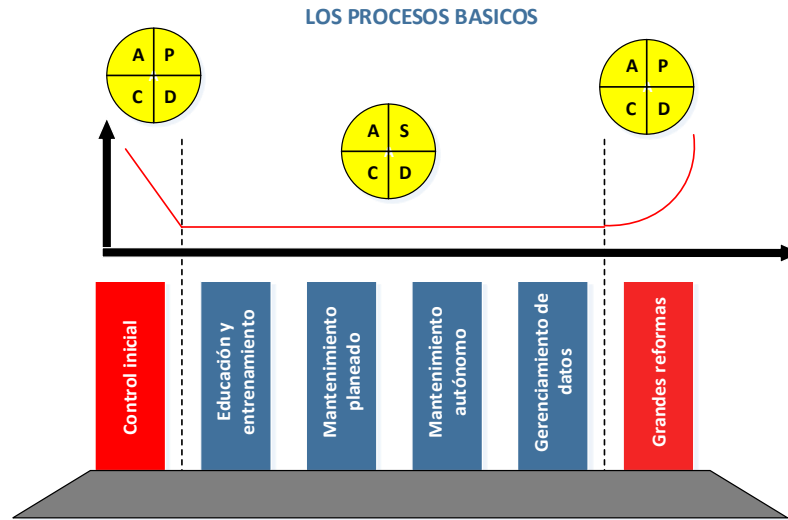
<sup>5</sup> Ibid., p. 47.

<sup>6</sup> Ibid., p. 46.

<sup>7</sup> GALVÁN ROMERO, Daniel. Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales. México, D. F., 2012, 108 p. Trabajo de grado (maestría en ingeniería optimización financiera). Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de maestría y doctorado en ingeniería.

<sup>8</sup> Documentación interna Gerdau Diaco.

Figura 2: Pilares del sistema de mantenimiento integrado



Fuente: Gerdau Diaco

Este sistema de gestión se traduce en el intercambio de personal y conocimientos entre plantas con el fin de integrar las mejores prácticas internas y externas y consolidarlas dentro de procesos estandarizados en una actuación conjunta de los líderes de la organización, promoviendo el continuo aprendizaje y desarrollo de la organización.

De esta manera se garantiza la renovación continua de la organización y su competitividad mediante la toma de comparadores que evidencian las mejores prácticas del área de mantenimiento.

Para el área de mantenimiento se tiene 13 prácticas:

- Comprometimiento del liderazgo con el sistema de mantenimiento integrado
- Mantenimiento autónomo
- Inspección programada
- Inspección predictiva
- Mantenimiento preventivo
- Planificación y ejecución del correctivo programado
- Planificación y ejecución de grandes reformas
- Gestión de la documentación técnica
- Evaluación de la ejecución de los trabajos
- Gestión de repuestos y compras
- Análisis de fallas



- Gerencia de datos
- Estándar de gerencia<sup>9</sup>

Estas prácticas son evaluadas una vez al año con el fin de compararse con otras plantas y adaptar sus mejores aspectos a los procesos propios.

#### **2.2.4 Funcionamiento del área de mantenimiento laminación**

Se realizaron, en el desarrollo de este trabajo por parte del proyectista, entrevistas personales con el equipo de mantenimiento del área de laminación. En estas entrevistas se les preguntó a los mantenedores sobre los equipos que tenían bajo su responsabilidad.

Por política de mantenimiento a nivel Gerdau, todos los equipos de la planta poseen un padrino, el cual es la persona encargada de velar por el correcto estado de estos. Esta estrategia permite a los mantenedores conocer a profundidad los equipos y desarrollar un sentido de pertenencia a los equipos, lo cual se ve reflejado en su compromiso por que los equipos se encuentren en el mejor estado posible.

Las órdenes de mantenimiento son programadas con una semana de anticipación. Estas tienen dos orígenes: Las primeras son generadas de forma automática por el sistema y corresponden a los planes de mantenimiento creados y modificados desde la implementación de SAP. El segundo grupo de órdenes son programadas por los padrinos los cuales por su experiencia determinan cuales son las intervenciones que se deben realizar y el tiempo que se debe destinar a su realización. El primer grupo de órdenes ha venido descendiendo en proporción al segundo debido a que sus características dificultan su reporte y ejecución, ya que una característica de SAP es que ningún plan de mantenimiento puede ser eliminado del sistema hasta que se cumpla con totalidad, haciendo que los planes con operaciones con frecuencias bajas no hayan podido eliminarse aún.

Las órdenes de mantenimiento son entregadas el primer día de la semana a los padrinos de los equipos. Estas poseen información, como el tiempo destinado a su realización, la prioridad de la orden y el paso a paso de lo que se va a realizar. Estas órdenes por lo general proceden del plan de mantenimiento que se manejaba con INFOMANTE, lo que ha generado varios problemas en SAP, ya que cada operación de la orden debe ser reportada de manera individual. El reporte lleva la hora de inicio y finalización de cada actividad y sus respectivas observaciones, lo cual lleva

---

<sup>9</sup> CANO. Op. cit., p. 22.

consigo un gasto de tiempo que, debido a la gran cantidad de operaciones que implican, genera un gasto excesivo de tiempo, que los funcionarios consideran pueden aprovechar en la realización de otras tareas. Esto ha llevado a varios padrinos a atender prioritariamente las necesidades de mantenimiento emergente y que no reporten como cumplidas las ordenes que se programan, a pesar de que algunas de estas tareas son realizadas.

Se pudo apreciar también, el simplificado manejo de indicadores de mantenimiento en el área, y la presencia de equipos que se encuentran por fuera de los planes de mantenimiento. Estos equipos han sido adquiridos recientemente y su mantenimiento no ha sido contemplado por el plan vigente.

Se logró identificar que el 80% de las órdenes de mantenimiento generadas, no son realizadas debido a múltiples factores que van desde la sobrecarga de actividades hasta la programación de actividades de mantenimiento en equipos inexistentes. Esto debido a que los planes de funcionamiento actuales fueron tomados de los existentes en Infomante, sin tener en cuenta las características propias de SAP y los equipos que fueron sacados de servicio.

## **2.4 Análisis DOFA área de mantenimiento**

La matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas, Amenazas) es un método de planificación que permite tener los enfoques claros de cuáles son los aspectos buenos y malos del área de análisis, permitiendo buscar soluciones para los aspectos negativos logrando así una mejora progresiva de la organización. Esta matriz permite definir los aspectos externos e internos que pueden entorpecer el buen funcionamiento de la empresa<sup>10</sup>.

La matriz se compone de los siguientes aspectos:

**Debilidades:** Se refiere a los aspectos internos que de alguna u otra manera no permitan el crecimiento de la organización, o que frenan el cumplimiento de los objetivos planteados.

**Oportunidades:** Se refiere a los acontecimientos o características externas a la organización que puedan ser utilizadas a favor para garantizar el crecimiento de la organización.

**Fortalezas:** Son las características internas de la organización que permitan impulsar al mismo y poder cumplir las metas planteadas.

---

<sup>10</sup> CONCEPTODEFINICION. Definición de Matriz DOFA. [En línea]. Lugar de publicación desconocido. Publicado Septiembre 18, 2015. Revisado 24 de Septiembre de 2017 [Citado el 24 de Septiembre de 2017]. Disponible en internet: <http://conceptodefinicion.de/matriz-dofa/>

Amenazas: Son los acontecimientos externos de la organización, en la mayoría de las veces incontrolables por el gerente y personal de la organización analizada<sup>11</sup>.

Para realizar este análisis se elaboró una lista de las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, gracias al aporte los programadores y el gestor de mantenimiento, quienes brindaron sus observaciones acerca del estado del área. Esta lista se registra en la matriz representada en la *Tabla 1*.

Luego se compararon las características internas con las externas para desarrollar estrategias:

- Comparando las fortalezas con las oportunidades se desarrollaron las estrategias de crecimiento (FO).
- Comparando las fortalezas con las amenazas se desarrollaron las estrategias de sostenimiento (FA).
- Comparando las debilidades con las amenazas se desarrollaron las estrategias de sostenimiento (DO).
- Comparando las debilidades con las amenazas se desarrollaron las estrategias de fuga (DA).

Estas estrategias desarrolladas se consignan en la matriz (ver Tabla 1)

#### **2.4.2 Conclusiones análisis DOFA**

Las estrategias que se establecieron con ayuda del personal de mantenimiento central, durante el primer mes de proyecto se pueden clasificar en dos grupos un primer grupo que se puede desarrollar con las herramientas con las cuales ya cuenta el área de mantenimiento y un segundo grupo que forma parte del objetivo del presente trabajo y son las siguientes:

- Hacer uso de la táctica RCM (Reliability Centred Maintenance) para desarrollar nuevos planes de mantenimiento que sean fáciles de reportar, asertivos en sus actividades, y aprovechen las capacidades de SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos)

---

<sup>11</sup> CONCEPTODEFINICION. Definición de Matriz DOFA. [En línea]. Lugar de publicación desconocido. Publicado Septiembre 18, 2015. Revisado 24 de Septiembre de 2017 [Citado el 24 de Septiembre de 2017]. Disponible en internet: <http://conceptodefinicion.de/matriz-dofa/>

- Diseñar indicadores de mantenimiento que aporten información que sirva de herramienta para llevar un proceso de mejora continua del plan de mantenimiento.

Tabla 1: Análisis DOFA área de mantenimiento

<div> <div>Análisis Interno</div> <div>Análisis Externo</div> </div>	Fortalezas	Debilidades
	F1 El GBS de mantenimiento. F2 Todos los procesos de mantenimiento cumplen con el ciclo PHVA. F3 El sistema integrado de mantenimiento F4 Misión, visión y objetivos de la empresa. F5 Programa 5's de mantenimiento. F6 Recurso humano que integra el área de mantenimiento. F7 Recursos técnicos y financieros.	D1 Las características del plan de mantenimiento entorpecen su programación en SAP D2 Elevado número de palanquillas perdidas por mantenimiento D3 Dificultades en la coordinación de los trabajos. D4 Falta de seguimiento a las intervenciones en los equipos. D5 Bajo cumplimiento de las actividades D6 Las fallas por mantenimiento ocasionan un promedio de 20 barras perdidas por mes.
Oportunidades	Estrategias (FO)	ESTRATEGIAS (DO)
O1 Indicadores de mantenimiento O2 Gestión del mantenimiento a través de prometheus O3 Tácticas de mantenimiento cuyo propósito sea reforzar el programa de mantenimiento RCM O4 Desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento.	F1+F2+F3+O2 Mantener los pilares del SMI durante el proceso de mantenimiento de los F6+F7+O2+O3 Implementar el uso de la táctica RCM para revisar y actualizar el programa de mantenimiento F4+F6+F7+O2+O4 Desarrollar un plan de mantenimiento que permita hacer intervenciones a los equipos durante periodos cortos F5+O4 mantener y mejorar el programa 5s de mantenimiento	D1+D4+D5+O1+O2 Desarrollar indicadores de mantenimiento, para retroalimentar y D3+D4+D5+O2+O1 Actualizar el plan de mantenimiento utilizando prometheus D3+O2+O4 Coordinar la ejecución de las actividades D1+D2+D3+D6+O2+O4 Implementar táctica del RCM para desarrollar un nuevo plan de mantenimiento
Amenazas	Estrategias FA	Estrategias DA
A1 Relación del costo de mantenimiento referido al costo de producción de la palanquilla. A2 Antigüedad de los equipos y las instalaciones. A3 Competencia con plantas similares. A4 Costo de la palanquilla A5 Incumplimiento en las entregas de producto terminado.	F4+F6+A1+A3+A4 El personal técnico debe realizar planes de acción den las fallas mayores que incidieron sobre los resultados del mes anterior F1+F2+F3+F6+A2 Hacer seguimiento a los resultados obtenidos con las estrategias de mantenimiento F1+A1+A4 Realizar seguimiento a los planes del GBS de mantenimiento	D1+D2+D6+A1+A4+A5 Realizar un control de costo de mantenimiento identificando oportunidades de ahorro D1+D2+D6+A2 mantenimiento debe realizar un plan de acción para impedir la pérdida de barras en el proceso D4+D5+A2 mantenimiento debe dar seguimiento semanal a los indicadores de mantenimiento y gestión de las OT D5+A2+A3 Incentivar el reporte de las actividades de mantenimiento

Fuente: autor

### 3. APLICACIÓN DE RCM

En este capítulo se aplica la metodología propuesta para el desarrollo del plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) teniendo en cuenta el diagnóstico y las conclusiones del análisis DOFA del área de mantenimiento, desarrollado en el capítulo anterior. Se realiza un análisis de equipo en el tren de laminación, se analizan los modos y efectos de falla de los equipos, se evalúa su impacto en el proceso y se plantea una estrategia de mantenimiento para disminuir la frecuencia de falla de los equipos.

Para la elaboración del plan de mantenimiento se siguió la metodología mostrada en la *figura 4*, la cual es la metodología del RCM, más un paso adicional el cual se expondrá más adelante.

Con el fin de facilitar la comprensión de la composición del tren de laminación, estructura y disposición, se presenta en el *anexo A* un esquema del mismo.

#### 3.1 EVALUACIÓN DE CRITICIDAD EQUIPOS TREN 2

Con el fin de enfocar los recursos de los que se dispone en el área de mantenimiento (recurso humano, tiempo, económico), los cuales son limitados, buscando establecer prioridades y focalizar el esfuerzo garantizando el éxito maximizando la rentabilidad.

Como criterio para la determinación de que equipos son críticos en la línea de producción, se toma como referencia el criterio expuesto por Cano<sup>12</sup>, en el cual se determina esta metodología para jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global con el fin de facilitar la toma de decisiones.

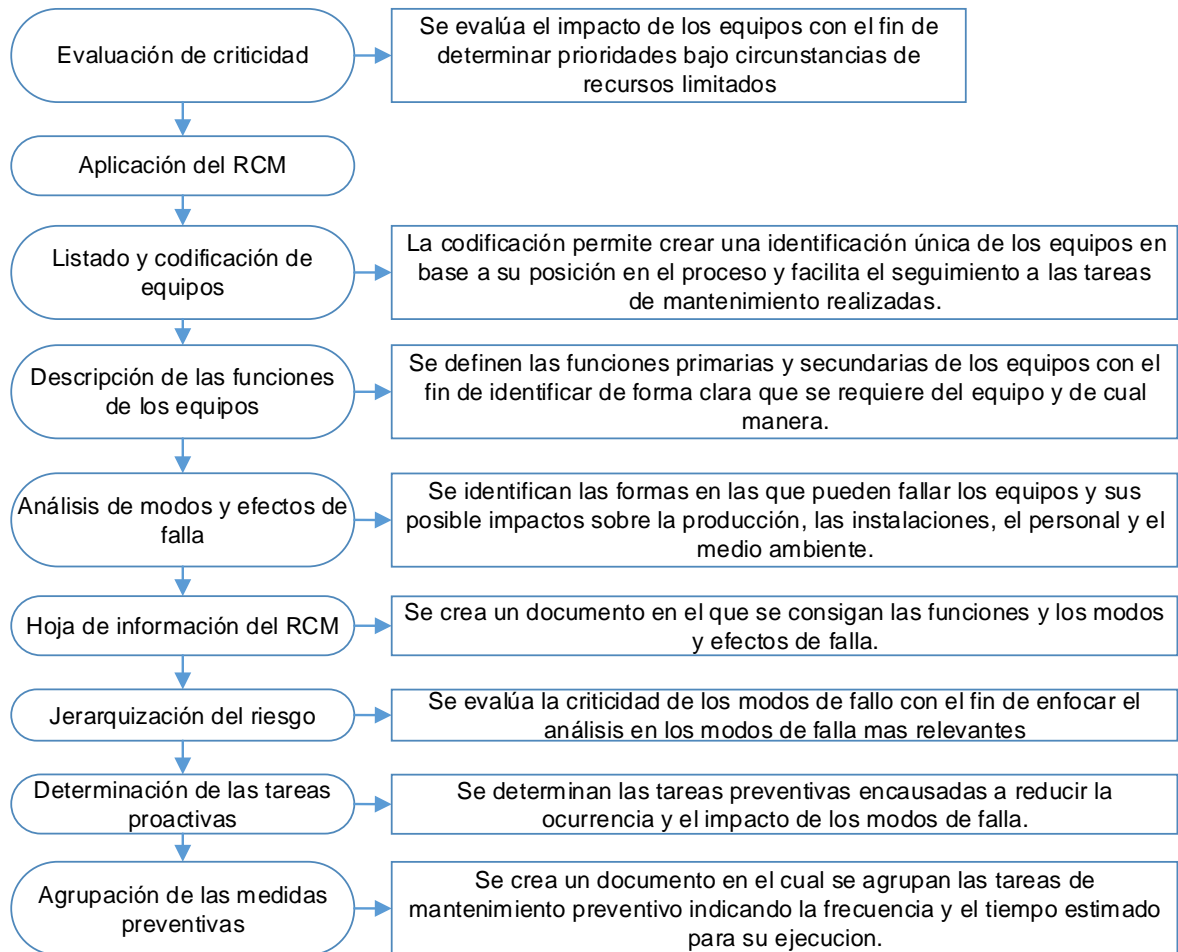
Se establecen como criterios fundamentales para realizar el análisis de criticidad los siguientes aspectos:

- Impacto operacional.
- Flexibilidad operacional.
- Costo de mantenimiento
- Impacto en seguridad ambiente e higiene
- Frecuencia de fallas

---

<sup>12</sup> CANO SANCHEZ, Oscar. Propuesta para la implementación de RCM en la planta Diaco Muña. Bucaramanga, 2009, 132p. Trabajo de grado (Especialización en gerencia de mantenimiento). Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisiomecánicas.

Figura 3: Metodología para la implementación del RCM



Fuente: autor

Dependiendo del grado del impacto en los aspectos anteriormente nombrados, los activos pueden ser calificados cuantitativamente, estos valores se ilustran en la *Tabla 2*.

Con estos valores se define matemáticamente la criticidad como el producto de la frecuencia de fallas por las consecuencias. Esta última es definida en términos del impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento e impacto en seguridad ambiente e higiene.

Para la consulta de las fallas se usaron dos fuentes: la bitácora de los equipos de mantenimiento, el cual es un documento que registra los incidentes acontecidos durante el turno, y la hoja de marcha, documento llevado por producción que registra las fallas en el tren de laminación que producen pérdida de palanquilla y detención

de la línea de producción. Esta compilación fue realizada por el proyectista entre los meses de Mayo y Octubre de 2016, teniendo en cuenta las fallas registradas en la hoja de marcha que se repetían en la bitácora.

Tabla 2: Criterios evaluación de criticidad

IMPACTO OPERACIONAL				VALOR
Pérdida de todo el despacho				10
Parada del sistema o subsistema con repercusión a otros sistemas				7
Impacta niveles de inventario o calidad				4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción				1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL				VALOR
No existe posibilidad de producción y no hay función de repuesto				4
Hay opción de repuesto compartido/almacén				2
Función de repuesto disponible				1
COSTO DE MANTENIMIENTO				VALOR
Mayor o igual a:		20 000 USD		2
Menor que:		20 000 USD		1
IMPACTO EN SEGURIDAD - AMBIENTE- HIGIENE - "SAH"				VALOR
Afecta la salud humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización				8
Afecta el ambiente/instalaciones				7
Afecta las instalaciones causando daños severos				5
Provoca daños menores (Ambiente - Seguridad)				3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente				1
FRECUENCIA DE FALLAS				VALOR
Pobre	Mayor a:	2	Fallas/año	4
Promedio	Entre:	1 y 2	Fallas/año	3
Buena	Entre:	0,5 y 1	Fallas/año	2
Excelente	Menos que:	0,5	Fallas/año	1
EVALUACION DE CRITICIDAD				
Criticidad total	Frecuencia de fallas x consecuencias			
Consecuencias	(Impacto operacional x flexibilidad) + costo de mnto + Impacto "SAH"			

Fuente: CANO SANCHEZ, Oscar. Propuesta para la implementación de RCM en la planta Diaco Muña.

El resultado de este seguimiento se presenta a continuación en las tablas 3, 4, 5 y 6.

Tabla 3: Estadística de fallas mecánicas

		Obstrucción del filtro	Daño en rodamientos	No actúa el mecanismo	Bajo caudal de lubricación	Se dobla el material	Desgaste	Desajuste	Daño	Fuga de aceite	Bajo nivel de aceite	Fuga de aire	Alta temperatura	Fuga de agua	Baja temperatura	Total
Horno Bendotti	Cuarto eléctrico															0
	Subestación de gas							1	1							2
	Ventiladores aire combustión															0
	Mesa de carga															0
	Central hidráulica										1					1
	Lanza deshornadora							1	4					5		10
	Palpador láser															0
	Quemadores								1							1
	Camino de rodillos de salida			1				4	7	1						13
	Horno		2						1			1				4
	Intercambiador de calor															0
Tren de desbaste	Reductor		2				1	1	1	1						6
	Central hidráulica acople															0
	Sistema de lubricación	5			1				1				2			9
Mesa fija	Camino de rodillos							1	5							6
	Camino de rodillos de barras devueltas															0
	Central hidráulica								2		7				1	10
	Volcadora 1						1									1
	Volcadora 2						2	1								3
	Volcadora 3								2							2
	Estructura															0
Mesa basculante	Camino de rodillos		1	1				2		2						6
	Prolongación mesa basculante							5	7							12
	Gira barras			1				1								2
	Basculamiento															0
	Central hidráulica								3	1	6				1	11
	Estructura								1							1

Fuente: autor



Tabla 4: Estadística de fallas mecánicas (continuación)

		Obstrucción del filtro	Daño en rodamientos	No actúa el mecanismo	Bajo caudal de lubricación	Se dobla el material	Desgaste	Desajuste	Daño	Fuga de aceite	Bajo nivel de aceite	Fuga de aire	Alta temperatura	Fuga de agua	Baja temperatura	Total
Tren continuo	Arrastrador 1										1					1
	Caja 2								1							1
	Caja 3							1								1
	Caja 4															0
	Caja 5															0
	Caja 6															0
	Caja 7															0
	Caja 8											1				1
	Caja 9															0
	Caja 10			1												1
	Caja 11															0
	Bucleador 1			1				1								2
	Bucleador 2															0
	Bucleador 3															0
	Sistema de aire forzado															0
	Sistema enfriamiento controlado	1						1								2
	Central hidráulica Movimiento de cajas										8					8
	Gupo Manifold	1														1
	Arrastrador 2								1							1
	Cizalla 1			5			1	2	4							12
	Cizalla 2							3								3
	Fotocelda 1															0
	Fotocelda 2															0
	Sistema de refrigeración cuarto eléctrico															0
Mesa de enfriamiento	Camino de rodillos de entrada							1								1
	Evacuador							2	1							3
	Central hidráulica evacuador															0
	Galopante			8		2	3	6		1						20
	Central hidráulica rodillos igualadores							2		1	2					5
	Barajador															0
	Camino de rodillos de salida							9	9							18
Terminación y empaque	Cizalla de corte en frío							1	2	1						4
	Camino de rodillos después de cizalla			4			3	8	8							23
	Ripador							2	4							6
	Central hidráulica ripador															0
	Estrella							1	1			1				3
	Pesaje en línea						2	1	2							5
	Carro de transferencia						1	2	2							5

Fuente: autor

Tabla 5: Estadística de fallas eléctricas

		Disparo	Daño	Ajuste de parámetros	Pérdida de señal	Sobrecarga	Daño aislamiento	Cortocircuito	Sobretensión	Daño conductores	Total
Horno Bendotti	Cuarto eléctrico		2		1			1			4
	Subestación de gas										0
	Ventiladores aire combustión										0
	Mesa de carga										0
	Central hidráulica										0
	Lanza deshornadora	2			1			1			4
	Palpador láser										0
	Quemadores		2	1							3
	Camino de rodillos de salida				1						1
	Horno									1	1
	Intercambiador de calor										0
Tren de desbaste	Reductor	1			1					1	3
	Central hidráulica acople										0
	Sistema de lubricación										0
Mesa fija	Camino de rodillos										0
	Camino de rodillos de barras devueltas										0
	Central hidráulica			1							1
	Volcadora 1				1						1
	Volcadora 2				1						1
	Volcadora 3				1						1
	Estructura										0
Mesa basculante	Camino de rodillos										0
	Prolongación mesa basculante	1	1	1							3
	Gira barras										0
	Basculamiento										0
	Central hidráulica	1									1
	Estructura										0

Fuente: autor

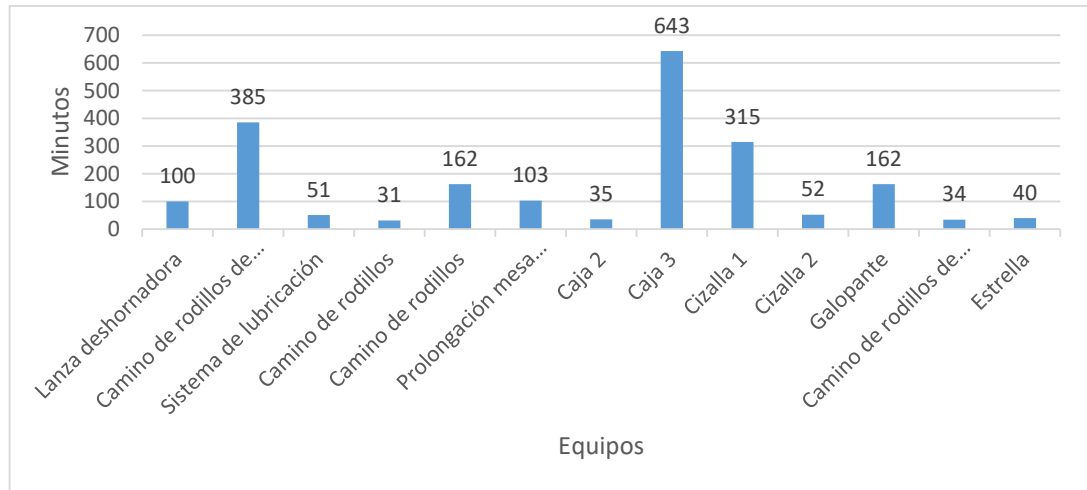
Tabla 6: Estadística de fallas eléctricas (continuación)

		Disparo	Daño	Ajuste de parámetros	Pérdida de señal	Sobrecarga	Daño aislamiento	Cortocircuito	Sobretensión	Daño conductores	Total
Tren continuo	Arrastrador 1				1	2					3
	Caja 2			1		2			2		5
	Caja 3			1	1	2			1		5
	Caja 4			2							2
	Caja 5			1							1
	Caja 6			1							1
	Caja 7			2							2
	Caja 8			2		1					3
	Caja 9			2							2
	Caja 10		2	1							3
	Caja 11			1							1
	Bucleador 1	1		2							3
	Bucleador 2										0
	Bucleador 3			3						1	4
	Sistema de aire forzado										0
	Sistema enfriamiento controlado										0
	Central hidráulica Movimiento de cajas										0
	Gupo Manifold										0
	Arrastrador 2				1			1		1	3
	Cizalla 1		2	2	1	1					6
	Cizalla 2					1					1
	Fotocelda 1										0
	Fotocelda 2										0
	Sistema de refrigeración cuarto eléctrico										0
Mesa de enfriamiento	Camino de rodillos de entrada	1	1					1			3
	Evacuador										0
	Central hidráulica evacuador			1							1
	Galopante	4	2								6
	Central hidráulica rodillos igualadores		3								3
	Barajador										0
	Camino de rodillos de salida										0
Terminación y empaque	Cizalla de corte en frío					1					1
	Camino de rodillos después de cizalla	1									1
	Ripador	2	1				1				4
	Central hidráulica ripador										0
	Estrella	8									8
	Pesaje en línea										0
	Carro de transferencia								1	1	2

Fuente: autor

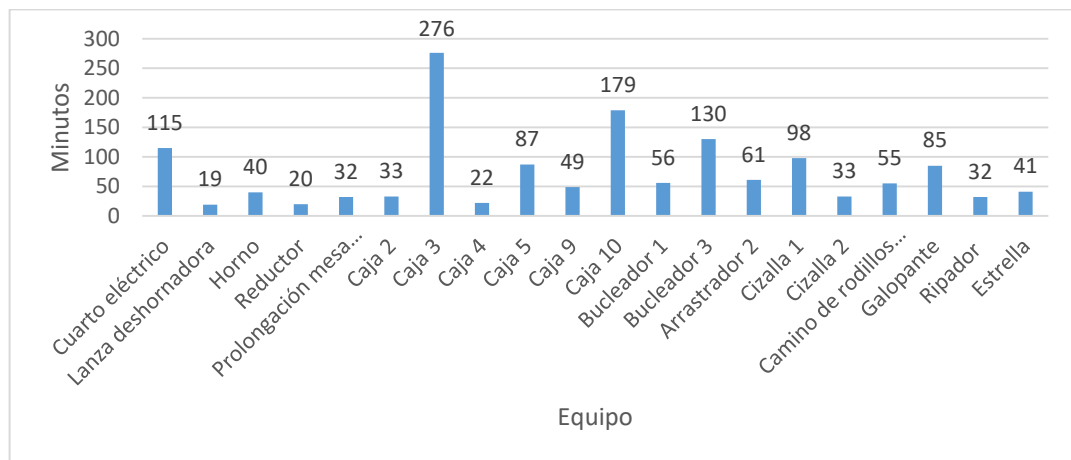
La bitácora a diferencia de la hoja de marcha no contiene información acerca del tiempo empleado para la puesta en servicio, de los equipos, con la información de esta última se puede apreciar cuales son los equipos con mayor tiempo de parada durante el periodo estudiado, el resultado se puede apreciar en las *Figuras 5 y 6*.

Figura 4: Equipos con mayor tiempo de paradas mecánicas



Fuente: autor

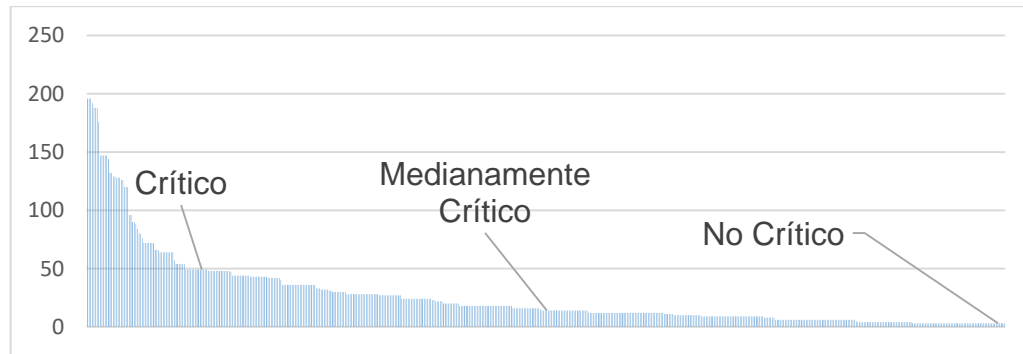
Figura 5: Equipos con mayor tiempo de paradas eléctricas



Fuente: autor

Al graficar todos los resultados obtenidos (figura 7), se pueden diferenciar tres zonas de criticidad, las cuales representan los equipos y sistemas con mayor impacto, los cuales se sugiere por parte del proyectista sean los equipos con atención prioritaria en caso de eventualidades que impidan la correcta ejecución de las ordenes de mantenimiento.

Figura 6: Resultados análisis de criticidad



Fuente: autor

A continuación se presenta una sección de los resultados del análisis de criticidad (ver tabla 7), en donde: C, MC y NC representan crítico, medianamente crítico y no crítico respectivamente.

### 3.2 ¿QUÉ ES RCM?

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico<sup>13</sup>.

Esta técnica, tiene en cuenta el impacto de falla de los equipos para realizar una revisión exhaustiva de los modos y efectos de falla y determinar el tipo de mantenimiento a realizar.

<sup>13</sup> RCM3. Qué es RCM3. [En línea]. Lugar de publicación desconocido. Revisado el 24 de Septiembre de 2017. [Citado el 24 de Septiembre de 2017]. Disponible en internet: <http://rcm3.org/que-es-rcm>

Tabla 7: Análisis de criticidad horno (fragmento)

TABLA EVALUACION DE CRITICIDAD										
Tren de laminación 2										
Planta Tuta										
ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA CRITICIDAD AD
1	Cuarto eléctrico	PLC de combustión	10	2	1	1	3	22	66	C
		PLC auxiliares	7	2	1	1	4	16	64	C
		Arrancadores auxiliares	1	2	1	1	1	4	4	NC
		Controladores del quemador	4	2	1	1	3	10	30	MC
	Subestación de gas	Presostatos	1	4	1	1	1	6	6	NC
		Medidores de gas	1	4	1	1	1	6	6	NC
		Tubería	7	4	1	3	1	32	32	MC
		Motores	7	1	1	1	1	9	9	NC
	Ventiladores aire combustión	Transmisión por bandas	7	1	1	1	4	9	36	MC
		Servomotores	4	2	1	1	1	10	10	NC
		Compuertas de aire	1	4	1	1	1	6	6	NC
		Filtros de ruido	1	4	1	3	1	8	8	NC
	Mesa de carga	Estructura	10	4	1	1	1	42	42	MC
		Uñas	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Detectores inductivos	7	1	1	1	1	9	9	NC
		Carro	7	4	1	1	1	30	30	MC
	Central hidráulica	Motores	7	1	1	1	1	9	9	NC
		Bombas	7	1	1	1	1	9	9	NC
		Tanque	7	4	1	3	3	32	96	C
		Mangueras	4	1	1	3	1	8	8	NC
		Filtros	1	1	1	1	1	3	3	NC
		Sensores	1	1	1	1	1	3	3	NC

Fuente: autor

Para ver en más detalle los análisis de equipo en el tren de laminación, se puede ver el *Anexo B*.

### **3.3 PREGUNTAS QUE SE BUSCA RESPONDER CON EL RCM**

Con el RCM se busca responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares deseados de desempeño del activo en su contexto actual? (Funciones)
2. ¿De qué manera el activo puede dejar de cumplir sus funciones? (Fallas funcionales)
3. ¿Qué causa cada falla funcional? (Modos de falla)
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional? (Efectos de falla)
5. ¿En qué formas afecta cada falla funcional? (Consecuencias de falla)
6. ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional? (Tareas proactivas y frecuencia)
7. ¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas preventivas aplicables? (Tareas por omisión)

### **3.4 METODOLOGÍA DEL RCM**

La metodología en la que se basa el RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) supone ir completando una serie de fases para cada uno de los activos que componen la planta y que dan respuesta a las 7 preguntas mencionadas anteriormente.

#### **3.4.1 Fase 0: listado y codificación de equipos**

Es importante no dejar ningún equipo por fuera del análisis del RCM, pero una simple lista de equipos con sus características es solo datos, no es útil ni práctica, para que esta lista sea realmente útil debe realizarse con una estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de los elementos.

En una industria se pueden distinguir los siguientes niveles:

- Nivel 1: planta.
- Nivel 2: áreas.
- Nivel 3: equipos.

- Nivel 4: sistemas.
- Nivel 5: elementos.
- Nivel 6: componentes.

Esta codificación permite distinguir equipos similares que se encuentren en distintas plantas o líneas de producción, así como los estandarizados de los activos.

Para tener mejor claridad, se definirán los conceptos a continuación:

- Planta: es la instalación donde se fabrican los productos, en este caso la planta Tuta.
- Área: zona de la planta que tienen una característica común, esta puede ser el centro de costos, similitud de equipos, línea de producto, función, etc.
- Equipo: cada una de las unidades productivas que componen el área o que constituyen un conjunto único.
- Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.
- Elemento: cada una de las partes que componen un sistema, como por ejemplo el motor de una bomba de lubricación.
- Componentes: las partes en las que puede dividirse un elemento (ejemplo, el rodamiento de un motor).

Dentro del sistema integrado de gestión de Gerdau se creó Gerdau Template como la guía para la creación de documentos el cual establece el estándar y los permisos para la creación de las ubicaciones técnicas. En él se establece que los tres primeros códigos son creados por la gerencia de mantenimiento, y a partir del cuarto nivel su creación es posible por parte de los programadores. También se establece la siguiente estructura para la creación de códigos:

- Nivel 1 planta: el código de este nivel es un número de 4 cifras único para cada planta, en el caso de la planta tuta es 1000.
- Nivel 2 área: este nivel del código está compuesto por dos letras y un número, agrupa áreas de la planta con el mismo fin: laminación, acería, utilidades... etc.
- Nivel 3 proceso: consta de cuatro cifras que indican a que etapa de la producción se encuentra asociado: calentamiento de palanquilla, tren continuo, terminación, empaque, etc.

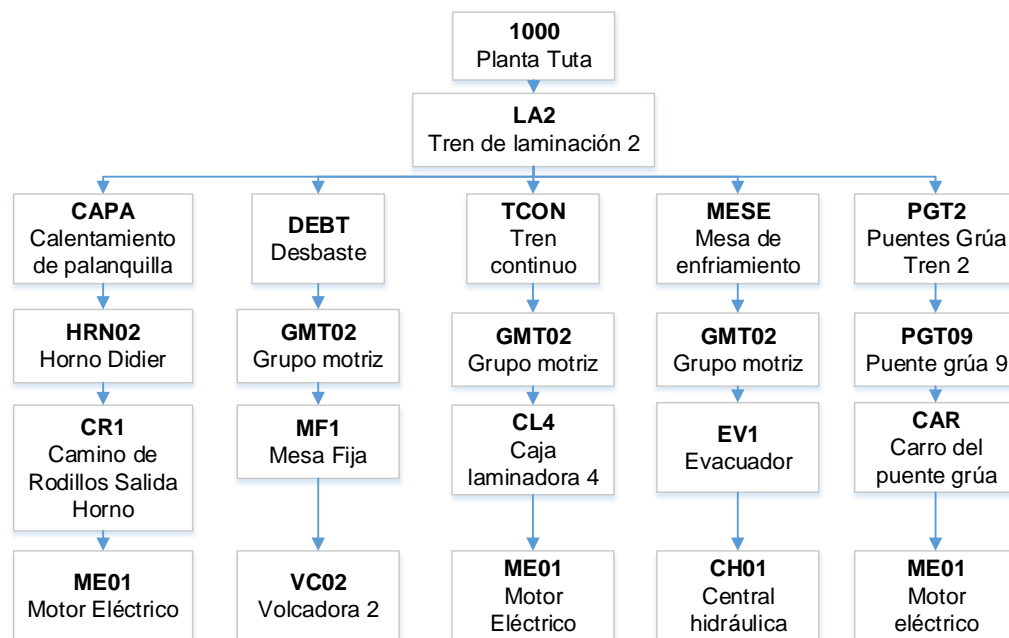


- Nivel 4 equipo: consta de cuatro cifras, los cuales pueden ser dos letras y dos números, o tres letras y un número.
- Nivel 5 sistema: son tres cifras, que constan de dos letras y un número.
- Nivel 6 elemento: puede constar de tres o cuatro cifras, tres letras y un número, o dos letras y dos números.

Para la creación de las ubicaciones técnicas, se tuvo en cuenta la característica de SAP que impide la eliminación de las ya creadas, solo se permite la modificación de su texto descriptivo, por lo que se optó por modificar la descripción de algunos equipos fuera de servicio para identificar equipos nuevos, con el fin de no extender el árbol de ubicaciones técnicas más allá de lo necesario.

Bajo estos parámetros, la codificación de los equipos se queda de esta manera (ver figura 7):

Figura 7: Diagrama de árbol ubicaciones técnicas



Fuente: autor

Bajo estos parámetros, para el cuarto de control y potencia del horno Bendotti se tiene como ubicación técnica: 1000-LA2-CAPA-HRN02-CC1-CE01, el cual hace referencia en orden a: planta tuta, tren de laminación 2, calentamiento de palanquilla, horno Bendotti, cuartos de control y Cuarto de control y potencia. El listado completo de ubicaciones técnicas se encuentra en el Anexo C.

### **3.4.2 Fase 1: descripción de funciones de los activos físicos**

Se procede a identificar las funciones primarias y secundarias de los equipos, siendo numeradas.

Teniendo en cuenta como funciones primarias aquellas por las cuales se compró el equipo, también se definen los estándares a los cuales será operado y mantenido (velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente).

Se definen como funciones secundarias aquellas otras que el activo está en capacidad de realizar más allá de sus funciones primarias (sistemas auxiliares, aislamiento, contención, protección, integridad ambiental, higiene, seguridad).

#### **3.4.2.1 Descripción de funciones horno Bendotti**

Dentro del análisis funcional del horno se identificaron las funciones para la sección del horno de calentamiento de palanquilla respondiendo la pregunta ¿Cuáles son las funciones y estándares deseados de desempeño del activo en su contexto actual? Dentro de las principales funciones están:

- Elevar la temperatura de la palanquilla hasta 1280C.
- Contener y evacuar los gases de combustión mediante la chimenea y los dâmperes.

Las funciones restantes se consideran como secundarias, no por ello son consideradas menos importantes. Para el horno se determinaron las siguientes funciones secundarias:

- Dejar la palanquilla en posición para ser transportada al proceso de desbaste
- Producir palanquillas a una razón de 27 toneladas por hora.

Esta información se plasma en la hoja de información del RCM.

### **3.4.3 Fase 2: determinación de las fallas funcionales y técnicas**

En esta fase se da respuesta a la segunda pregunta del RCM ¿De qué manera el activo puede dejar de cumplir sus funciones? De acuerdo con el análisis por funciones se encontraron las siguientes fallas funcionales:

- Elevar la temperatura de la palanquilla hasta 1280C.

- La palanquilla se funde dentro del horno.
  - Temperatura de salida de la palanquilla demasiado alta.
  - Temperatura de salida de la palanquilla demasiado baja.
  - Temperatura irregular de la palanquilla.
- Contener y evacuar los gases de combustión mediante la chimenea y los dámetros.
    - Escape de humo por las puertas de ingreso y salida de palanquilla.
    - Escape de humo por los ductos de evacuación de humos.
- Dejar la palanquilla en posición para ser transportada al proceso de desbaste.
    - Las puertas de deshormamiento no se abren.
    - La barra se tuerce y se traba dentro del horno.

#### **3.4.4 Fase 3: análisis de modos y efectos de falla**

Una vez determinados los posibles modos de falla de los activos que pueden causar la pérdida de las funciones, se continúa identificando cuales son los efectos que generan estos modos de falla en la operación de los equipos. Para tal proceso se responden las preguntas ¿Qué causa cada falla funcional? ¿Qué ocurre en la máquina o parte de ella? ¿Cómo se manifiesta la falla? ¿Es visible para el operador? ¿El modo de falla amenaza la seguridad o el medio ambiente, la manera en la que afecta la producción, las operaciones y los daños físicos causados por la falla? ¿Cuánto tarda en ponerse en funcionamiento de nuevo el activo?

En la tabla 9 pueden observarse los efectos y en el *Anexo D* pueden verse el análisis de los equipos asociados al horno de calentamiento de palanquilla, el tren de desbaste, tren continuo, mesa de enfriamiento y terminación.


#### **3.4.5 Hoja de información del RCM**

En este documento se registra toda la información correspondiente en los puntos anteriores, la redacción de este documento tiene como finalidad suministrar la información necesaria para el análisis y diseño del plan de mantenimiento.

Se elaboró una hoja de información del RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) por equipo crítico y en el caso de los equipos con mayor complejidad se elaboró una por cada sistema evaluado como crítico.

A continuación en las *Tablas 8 y 9*, se puede ver parte del documento realizado para el horno de calentamiento de palanquilla, el documento completo se encuentra en el *anexo D*.

Tabla 8: Hoja de información RCM Horno

 <b>HOJA DE INFORMACION RCM</b>					
Elemento:	Horno Bendotti	No:	Realizado por: Milton Rincon	Fecha de creación: 2017	Hoja:
Componente:	Horno	Ubicación técnica: 1000-LA2-CAPA-HRN02	Revisado por:	Fecha de revisión: 2017	De:
Versión del documento:	1	Aprobación:			
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de las fallas		
1 Elevar la temperatura de la palanquilla hasta 1280C	1 La palanquilla se funde dentro del horno	1 Descalibración de los Sensores UV de los quemadores	Si los sensores UV se descalibran, la medición del tamaño de la llama es inferior a la real, esta falla no es evidente para el operador, se debe cambiar el sensor UV o sacar de funcionamiento el quemador para proseguir con el funcionamiento normal del equipo. Tiempo de reparación 30 min.		
		2 Desajuste de parámetros de funcionamiento	Esta falla no presenta síntomas apreciables al operador, se debe corregir los parámetros de funcionamiento del programa que controla los quemadores. Tiempo de reparación 15 min.		
		3 No actúan los cilindros empujadores	El operario del quipo identifica la falla con facilidad, la falla es generada por el sistema hidráulico de los cilindros empujadores. Es necesario parar la producción para efectuar las reparaciones.		
	2 Temperatura de salida de la palanquilla demasiado alta	1 Llama de los quemadores demasiado grande	Esta falla se aprecia en los pirómetros de salida del horno, se apagan quemadores. La reparación puede efectuarse en un mantenimiento programado.		
		2 Velocidad de avance de los pistones demasiado baja	La falla es detectada por el operario de la mesa de carga, debe detenerse la producción, mientras se repara el daño en el sistema hidráulico. El tiempo de reparación es variable dependiendo del tipo de daño en el sistema hidráulico.		

Fuente: autor

### 3.4.6 Jerarquización del riesgo

Con el fin de tener un criterio con el cual establecer la prioridad de las medidas preventivas a los equipos se evaluaron las frecuencias de fallos y sus consecuencias.

Se categorizaron las frecuencias de fallas de acuerdo con unos rangos de aparición mensual con los valores mostrados en la tabla 9.

Tabla 9: Categorías de frecuencia

Categoría	Concepto	Valor
Muy baja	0 a 1 vez al mes	1
Baja	2 a 3 veces al mes	2
Media	4 a 5 veces al mes	3
Alta	Más de 5 veces al mes	4

Fuente: BARROS CHAPARRO, David Jesús; VALENCIA OCHOA, Guillermo y VARGAS HENRÍQUEZ, Lisandro. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo.

Luego se elaboró una tabla para la categorización de las consecuencias de los modos de falla identificados (tabla 10) y se realizó un producto de la frecuencia por las consecuencias con el fin de elaborar una matriz de riesgo e identificar las zonas o niveles de riesgo.

Tabla 10: Categorías de consecuencia

Categoría	Concepto	Valor
Leve	Consecuencia leve para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina	11
Media	Consecuencia media para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	21
Grave	Consecuencias grave para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina	31
Muy Grave	Consecuencias muy grave para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina	47

Fuente: BARROS CHAPARRO, David Jesús; VALENCIA OCHOA, Guillermo y VARGAS HENRÍQUEZ, Lisandro. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo.

Se realizó un producto de la frecuencia por las consecuencias de los modos de falla (ver tabla 11) con el fin de elaborar una matriz de riesgo e identificar los niveles o zonas de criticidad (tabla 12), y discriminar las fallas en cuatro categorías.

Tabla 11: Matriz de riesgo para RCM II

Alta	44	84	124	188
Media	33	63	93	141
Baja	22	42	62	94
Muy baja	11	21	31	47
	Leve	Media	Grave	Muy Grave

Fuente: BARROS CHAPARRO, David Jesús; VALENCIA OCHOA, Guillermo y VARGAS HENRÍQUEZ, Lisandro. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo.

Tabla 12: Clasificación de criticidad

Clasificación	Intervalo	Criticidad
D	11, 21, 22	Riesgo bajo
C	31, 33, 42	Riesgo medio
B	44, 47, 62, 63, 84, 93	Riesgo medio-alto
A	94, 124, 141, 188	Riesgo alto

Fuente: BARROS CHAPARRO, David Jesús; VALENCIA OCHOA, Guillermo y VARGAS HENRÍQUEZ, Lisandro. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo.

De esta manera se toman en cuenta cuáles son los modos de falla que tienen mayor incidencia en la seguridad de la planta, y son estos los que se tendrán con mayor atención en el desarrollo de las tareas proactivas de mantenimiento, con el fin de dar un manejo confiable al riesgo. En el *Anexo E* se puede observar el diagrama de decisión RCM.

### 3.4.7 Determinación de las tareas proactivas

A partir de la hoja de información y utilizando el diagrama de decisión de RCM a través de una secuencia lógica de análisis se obtuvo el listado de tareas de mantenimiento a desarrollar. Para cada modo de fallo funcional establecido se recorrió el diagrama de decisión desde la parte superior izquierda hasta la inferior derecha respondiendo las preguntas planteadas en el diagrama.

De este análisis se obtuvieron los siguientes tipos de actividades o tareas de mantenimiento:

- Tareas proactivas (preventivas), que corresponden a una estrategia de prevención de fallas:
  - Sustitución y reacondicionamiento cíclico (time based maintenance).
  - Condicionales o predictivas (condicional based maintenance).
- Acciones a falta de una tarea proactiva efectiva, que corresponden a una estrategia de acción contra falla:
  - Búsqueda de fallas ocultas.
  - Rediseño.
  - Mantenimiento a rotura o avería.

Como resultado de este análisis y la jerarquización del riesgo se elaboró la “hoja de decisión” en la cual para cada modo de falla se define la actividad de mantenimiento correspondiente.

En este documento se hace referencia a la falla y los modos de falla de la hoja de información, en este documento se indican:

Caracterización y jerarquización del riesgo:

- F: Función. Hace referencia al número ordenado que representa la función del equipo en la hoja de información del equipo.
- FF: Falla funcional. Se referencia el número de la falla funcional estudiada en la Hoja de información del equipo relacionada con su función correspondiente (F).
- MF: Modo de falla. Indica la posible manera en la que se puede generar la falla funcional (FF) indicada en la hoja de información del equipo.
- Fr: Frecuencia. Indica el valor asignado según la ocurrencia del modo de falla como se indica en la tabla 13.
- Co: Consecuencias. Indica el valor de evaluación de las consecuencias del modo de falla como se ilustró en la tabla 14.
- Critic: Criticidad. Es el producto de la frecuencia (Fr) por las consecuencias (Co) del modo de falla indicado.
- Riesgo: Indica la categoría del riesgo indicado por la matriz mostrada en la tabla 14, cuyos valores se indican en la tabla 15.

Evaluación de consecuencias (ver anexo E, Diagrama de decisión RCM II):

- H: Consecuencias de fallo oculto.

- S: Consecuencias para la seguridad y medio ambiente: Seguridad de las personas.
- E: Consecuencias para la seguridad y medio ambiente: Impacto ambiental.
- O: Consecuencias no operacionales.

Decisión: Indica el tipo de tarea que se recomienda para reducir la ocurrencia del modo de fallo evaluado, estas tareas se representan por:

- H1, S1, O1, N1: Tarea a condición.
- H2, S2, O2, N2: Tarea de reacondicionamiento cíclico.
- H3, S3, O3, N3: Tarea de sustitución cíclica.

Tareas “a falta de”: Indica la sugerencia de que se debe hacer en caso de no encontrarse un tipo de tarea para atacar las consecuencias del modo de falla, en esta sección se encuentra:

- H4: Tarea de búsqueda de fallos.
- H5: Ningún mantenimiento programado, el rediseño debe justificarse.
- S4: El rediseño es obligatorio.

A continuación de estos se especifican las medidas preventivas (de ser el caso), su frecuencia tentativa y el responsable de llevar a cabo esas tareas. En la tabla 13 se puede observar un fragmento del proceso realizado para la lanza deshornadora. En el *Anexo F* puede observarse en detalle la hoja de decisión de RCM de los equipos Asociados al horno de calentamiento de palanquilla, el proceso de desbaste, el tren continuo, la mesa de enfriamiento y terminación.

### **3.4.8 Agrupación de las medidas preventivas**

Para que los planes de mantenimiento desarrollados, puedan cumplir con los requerimientos y necesidades del plan de mantenimiento se requiere que lo anteriormente desarrollado cumpla con diferentes parámetros, estos parámetros son los siguientes:

- Se debe especificar una proyección del tiempo empleado para realizar las tareas.
- Usar lenguaje proactivo.
- Evitar colocar parámetros de funcionamiento que sean innecesarios.



Tabla 13: Hoja de decisión RCM lanza deshornadora (fragmento)

HOJA DE DECISIÓN RCM																																									
Elemento:		Horno Bendotti		No:		1		Realizado por:		Milton Rincon		Fecha de creación:		2017		Hoja: 1																									
Componente:		Lanza des hornadora		Ubicación técnica:		1000-LA2-CAPA-HRN02-DE1		Revisado por:				Fecha de revisión:		2017		De: 1																									
Versión del		1		Aprobación:																																					
1		Caracterización y jerarquización del riesgo						Evaluación de consecuencias				Decisión				Tareas "a falta de"				Tareas propuestas		Frecuencia inicial		A realizar por																	
		F		FF		MF		Fr		Co		Critic		Riesgo		H		S								E		O		H1 S1		H2 S2		H3 S3		H4		H5		S4	
		1		1		11		11		11		D		S		S		N		N		N		N		N		N		N		N		N		Ningún mantenimiento programado.				Juan Carlos Díaz	
		2		1		31		31		31		C		S		S		S		N		N		S		N		N		N		N		N		Limpieza y ajuste de conexiones, cambiar conductores en mal estado.		15D		Juan Carlos Díaz	
		3		1		31		31		31		C		S		S		S		N		N		S		N		N		N		N		Limpieza del tablero de mando, ajuste de conexiones, cambiar elementos de mando en mal estado.		15D		Juan Carlos Díaz			
		4		1		11		11		11		D		S		S		S		N		N		S		N		N		N		N		Limpiar grasa sucia, tensionar cadena, revisar estado de eslabones y dientes, ajustar tornillería de fijación piñones. Lubricar, cambiar elementos en mal estado.		1M		Leovigildo Ávila			
5		1		31		31		31		C		S		S		S		N		N		N		N		N		N		N		Ningún mantenimiento programado.									
6		1		31		31		31		C		S		S		S		N		N		S		N		N		N		N		Limpieza del motor, ajuste de tornillería de anclaje, medir aislamiento del motor. Limpiar y ajustar tapa y ventaviola.		15D		Juan Carlos Díaz					

Fuente: autor

- Agrupar la mayor cantidad de actividades en el texto expandido de una sola operación.
- El texto expandido debe ser minimalista para reducir el consumo de papel.
- El formato desarrollado debe permitir modificaciones y una fácil carga al sistema.
- Todas las tareas de mantenimiento deben realizarse en paradas programadas.

Basado en estos parámetros, se procedió a hacer el tratamiento debido a la información procesada.

#### **3.4.8.1 Características planes de mantenimiento SAP**

Para que una orden de mantenimiento se cargue al sistema y se genere de forma automática debe cumplir con requisitos de información y de forma para poder realizar la carga al sistema de la forma más eficiente posible.

#### **3.4.8.2 Hoja de ruta**

La hoja de ruta es un documento virtual dentro de SAP que permite definir y gestionar de forma centralizada las medidas de mantenimiento de los equipos.

Para la realización de este documento se deben definir:

**Ubicación maestra:** ubicación técnica a la cual se carga la orden, de tal manera que al consultar la ubicación técnica se puedan visualizar las hojas de ruta asociada a esta. Las hojas de ruta que contienen las instrucciones de mantenimiento de los equipos relacionados al proceso de calentamiento de palanquilla se cargan a la ubicación técnica 1000-LA2-CAPA-HRN02.

**Nombre de la hoja de ruta:** ayuda a referenciar el equipo y el tipo de tareas que contiene, hace énfasis en el tipo de mantenimiento (eléctrico, mecánico) y el equipo al cual se van dirigidas las actividades. En mantenimiento central se maneja mnto como la abreviación de mantenimiento, por lo que se seguirá usando así en este proyecto.

**Centro de planificación:** identificado por un código de cuatro dígitos, identifica la planta a la cual pertenece la hoja de ruta.

**Puesto de trabajo:** dato maestro que permite visualizar la cantidad de trabajo y de órdenes que se han realizado para un área en particular. Para el área de laminación se maneja:

- LA-GE-ME: laminación general mecánico.
- LA-GE-EL: laminación general eléctrico.

**Utilización:** es el fin de la hoja de ruta, para el caso se pueden definir 2 identificados con los códigos 4 y 54 correspondientes a mantenimiento y servicio externo respectivamente.

**Grupo planificador: código** de tres letras que identifica al equipo responsable de la planificación de las tareas en nuestro caso mantenimiento laminación, identificado con el código ZLA.

**Estatus hoja de ruta:** Indica la situación en la que se encuentra la hoja de ruta dentro del sistema, hay cuatro posibles estados para una de ellas:

1. Fase de creación.
2. Liberado para orden.
3. Liberado para cálculo de coste.
4. Liberado en general.

En este caso siempre se utilizara en estatus 4.

**Estado instalación:** identifica el estado en el que se debe encontrar el proceso para realizar las tareas ya sea parada programada o interrupción identificados con los códigos 6 y 8 respectivamente.

**Estrategia de mantenimiento:** define los intervalos sobre los que se mide la frecuencia de las tareas, se ha definido para las hojas de ruta la unidad base de días identificado por el código ZA.

**Ubicación técnica:** define el activo al cual se realizan las actividades de la hoja de ruta.

**Operación:** descripción de la tarea que se debe realizar, este espacio posee caracteres limitados.

**Texto expandido:** espacio en el que se puede detallar en una mayor profundidad los detalles de la operación, este espacio se utilizó para colocar los detalles de las tareas de mantenimiento que puedan agruparse por frecuencia, localización y practicidad.

**Datos cálculo de trabajo:**

- Número de personas requeridas para cumplir la operación.
- Tiempo estimado para la operación.
- CvC: indica la forma en la que se hace el cálculo del trabajo necesario, en este caso se calculó hallando el producto de las personas requeridas por el tiempo necesario para su realización, lo que da la cuenta de lo minutos hombre por operación.
- Frecuencia: intervalo entre los cuales debe realizarse la operación.

Toda esta información se recopila en la estrategia de mantenimiento, el cual se presenta en formato digital por políticas de ahorro en el uso del papel y facilidad para la implementación en la plataforma SAP .Las estrategias de mantenimiento se pueden ver en detalle en el *Anexo G*.

### **3.4.9 Puesta en marcha de las medidas preventivas**

Los planes de mantenimiento en SAP tienen como característica que el inicio de las tareas de mantenimiento de una hoja de ruta se dan todas en la misma fecha, pero a medida que se van generando de manera automática se pueden aplazar o cancelar de acuerdo a la disponibilidad de tiempo, recursos o el criterio del programador de mantenimiento. Por tanto se generó un calendario que permite organizar el inicio de la ejecución de los planes de mantenimiento, de tal manera que la generación automática de órdenes de trabajo no supere la capacidad de tiempo y personal.

Este calendario indica la manera en la que se sugiere dar inicio a los planes de mantenimiento, ofrece también una proyección del tiempo requerido para su cumplimiento, los días en los cuales la carga de trabajo excederá la capacidad disponible, con el fin de tomar las medidas necesarias, las cuales pueden ser la reprogramación de actividades o la contratación de servicios externos.

En la *tabla 14* se puede observar un fragmento del calendario de actividades de mantenimiento eléctrico del horno. En él se puede observar además, la proyección del tiempo en minutos y horas que requieren la realización de las tareas que se generan automáticamente para cualquier día del calendario y así evaluar la posibilidad de reprogramar tareas o de solicitar personal externo.

En las estrategias de mantenimiento, símbolo número (#) es una representación de Excel de los minutos empleados en realización de la tarea cuando no se puede visualizar el numero completo por el tamaño de las celdas, los colores empleados en los cuadros tienen el propósito de facilitar el seguimiento de las actividades en el calendario. En el *ANEXO G* puede verse en detalle las estrategias de mantenimiento de los equipos asociados al horno de calentamiento de palanquilla, el tren de desbaste, el tren continuo, la mesa de enfriamiento y terminación.



#### 4. LISTADO DE REPUESTOS CRÍTICOS

En este capítulo se revisan los listados de repuestos críticos de los equipos analizados en el capítulo, estos desempeñan un papel fundamental ayudando a asegurar la disposición de los repuestos usados con mayor frecuencia para disminuir los tiempos muertos por falta de estos.

Se actualizó el listado de repuestos críticos para los equipos con el fin de garantizar la disponibilidad de los repuestos necesarios para la puesta en servicio de los equipos después de una falla, de la manera más efectiva posible y facilitar el proceso de compra de estos.

Con la implementación de SAP se pueden distinguir dos tipos de repuestos:

- Repuestos genéricos: Son aquellos que son producidos en serie, fácilmente catalogables, se identifican con un código para facilitar el proceso de compra
- Repuestos específicos: Aquellos que requieren ser manufacturados bajo pedido, por lo general requiere el diseño de planos para ello.

Par la elaboración de este listado se tuvieron en cuenta criterios como el número de estos que se encuentran instalados en los equipos y la frecuencia (información proporcionada por los padrinos de los equipos) en la que se requieren.

Debido al gran número de equipos, el listado de repuestos se recomienda es manejado por los padrinos de los equipos, los cuales deben estar a cargo de verificar las existencias en el taller y realizar la solicitud de compra cuando sea necesario.

En este formato se inscribe la información de la cesta de compra en el caso de realizarse el proceso de compra. Este documento debe actualizarse por lo menos una vez al mes con el fin de garantizar la existencia en el taller o en el almacén, de los repuestos necesarios. En la *tabla 15* se puede ver un ejemplo de este formato diligenciado y en el *anexo H* el listado de repuestos críticos de las secciones del tren de laminación 2.

Tabla 15: Listado de repuestos críticos mecánicos horno

GERDAU DIACO		LISTADO DE REPUESTOS CRÍTICOS									
		Planta tuta laminación tren 2									
		Planeación Mantenimiento mecánico									
Padrino:	Sección	Equipo	Repuesto	Reviso:							
				Código SAP	Instalados	Requeridos	Almacén	Taller	Faltante	Cesta de compra	
HORNO TREN 2	Mesa de carga	Uña de empuje		20	4	0	4	0			
		Cilindro hidráulico empuje palanquilla		2	2	0	2	0			
		Cilindro hidráulico mesa de cargue		1	1	0	1	0			
		Manguera r12 de 1"		4	1	2	1	0			
		Conjunto completo "eje , rueda para mesa de cargue"		4	1	0	1	0			
	Central hidráulica empujadores	Bomba de piñones		5	1	0	2	0			
		Electroválvula hidráulica 5/3		5	1	0	2	0			
		Bomba de recirculación		1	1	1	1	0			
		Manguera r12 1"		10	2	0	2	0			
		Filtros de descarga		4	2	0	4	0			
		Válvula reguladora de presión 0-3000 psi		4	1	0	1	0			
		Cheque de 1" pilotado		4	1	0	1	0			
	Lanza deshornadora	Lanza deshornadora conjunto		1	1	0	1	0			
		Reductor lanza deshornadora		1	1	0	1	0			
		Manguera refrigeración lanza		2	10(m)	0	0	10			
	Ventiladores de combustión	Rodamiento ventilador combustión 22215 k skf	10021468	4	2	0	2	0			
		Mango de fijación h 315 skf	10014058	4	2	0	2	0			
		Soporte vent combustión SNH 515-612	10017729	4	2	0	4	0			
		Sellos obturadores soportes	513812	8	4	0	0				
		Correas para ventilador combustión 5vx 1020	10015552	8	8	0	6	0			
		Rodamiento ventilador chimenea 22222 k skf	10022196	2	1	0	2	0			
		Soporte rod vent chimenea 522-619 skf	10011727	2	1	0	1	0			
		Sellos obturadores doble labio soportes 522-619	513694	8	4	0	0	4	1003749915		
		Mango de fijación h 322	10014065	2	2	0	2	0			
	Correas para ventiladores de combustión cx -158	10015606	6	6	0	6	0				

Fuente: autor



## **5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO**

En este capítulo se desarrollan y explican los indicadores de mantenimiento planteados para hacer seguimiento a la implementación de los planes de mantenimiento desarrollados en capítulos anteriores, también se desarrollan los formatos necesarios para ello.

Los indicadores de mantenimiento permitirán observar el impacto que realizan las medidas preventivas sobre la operación de los activos del tren de laminación y brindar los elementos de juicio para realizar ajustes y mejoras en las actividades proactivas que se han determinado.

Los indicadores de mantenimiento que se plantearon para seguir la ejecución del mantenimiento en el tren de laminación fueron los indicadores de mantenimiento de clase mundial, los cuales ofrecen información acerca del impacto de las medidas preventivas planteadas en la disponibilidad de los equipos. Se desarrollan también, indicadores de gestión de órdenes de trabajo, con los que se realizara el seguimiento al cumplimiento de las órdenes de trabajo generadas.

### **5.1 INDICADORES DE MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL**

Estos indicadores, relacionan la frecuencia de fallas con los tiempos de operación y reparación de estos, ayudan a visualizar la rapidez y efectividad de las tareas de mantenimiento. Su seguimiento, permitirá hacer cambios a las frecuencias de las tareas propuestas en este proyecto.

#### **5.1.1 Tiempo medio entre fallas**

Es la relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en estos ítems en el periodo observado. Este indicador permitirá observar el tiempo promedio en el cual se presentan fallas en los equipos. Para el cálculo de este indicador se define:

- NOIT: Numero de ítems.
- HROP: Tiempo de operación.
- NTMC: Número total de fallas.

De esta manera se define:

$$TMEF = \frac{NOIT * HROP}{\sum NTMC}$$

### 5.1.2 Tiempo medio de reparación

Permite conocer la gravedad de las averías considerando el tiempo medio para su solución. Analizando este indicador se pueden plantear estrategias para reducir los tiempos de equipo detenido por mantenimientos correctivos.

- HTMC: Tiempo total del conjunto no operativo debido a fallas.
- NTMC: Número total de fallas del equipo en el periodo observado.

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC}$$

### 5.1.3 Disponibilidad Total

Indica la relación que existe entre el tiempo que se desea tener en servicios los equipos y el que realmente se puede utilizar.

- HRMN: tiempo empleado para mantenimiento programado.

$$Disponibilidad (DISP) = \frac{HROP - HRMN}{HROP}$$

Con la información recolectada en el capítulo 3 de este trabajo, se realizó el cálculo de estos indicadores, de los cuales se debe resaltar que la disponibilidad de los equipos en el periodo analizado varía entre el 71% y el 98%, el tiempo medio entre fallas (TMEF) promedia las 199 horas, y el tiempo medio para reparación (TMPR) promedia los 13 min.

## 5.2 INDICADORES DE GESTIÓN DE ÓRDENES DE TRABAJO

Para llevar seguimiento a la implementación y desarrollo del nuevo plan de mantenimiento se propusieron los siguientes indicadores:

- Número de órdenes de mantenimiento generadas al mes: No es mucha la información que puede brindar, pero es de utilidad para la determinación de otros indicadores.
- Número de órdenes acabadas: Es muy útil si se relaciona con el número de órdenes generadas, es un indicador al que se le debe seguir su evolución con el tiempo.
- Número de órdenes pendientes: Da una idea de la eficacia en la resolución de problemas. Es importante distinguir la razón de su incumplimiento, distinguiendo las que están pendientes por causas ajenas a mantenimiento (pendientes por la recepción de un repuesto, porque producción no da autorización para intervenir en el equipo, etc.) de las debidas a la mala organización del mantenimiento o a la acumulación de tareas.

Por esto se dividió este indicador en tres:

- Por falta de repuesto.
- Por parada de un equipo.
- Por otras causas.

- Número de órdenes de trabajo de emergencia (prioridad máxima): indican el estado de la planta, un indicador alto muestra el mal estado de los equipos, mientras que uno bajo muestra su buen estado.
- Horas estimadas de trabajo pendiente: es la suma de las horas estimadas en cada uno de los trabajos pendientes.
- Índice de cumplimiento de la planificación: es la proporción de órdenes que se acabaron en la fecha programada o con anterioridad, sobre el total de órdenes totales. Mide el grado de acierto de la planificación.

$$\begin{aligned} &\text{Índice de cumplimiento de la planificación} \\ &= \frac{\text{Número de órdenes acabadas en la fecha planificada}}{\text{Número de órdenes totales}} \end{aligned}$$

- Retraso medio del tiempo planificado:

$$\text{Retraso medio} = \frac{\sum \text{Tiempo (min) de retraso en cada orden de trabajo}}{\text{Número de órdenes de trabajo}}$$

De estos indicadores cabe resaltar que el índice de cumplimiento de planificación se encuentra en 0,81 (81%), lo cual no necesariamente quiere decir que el 20% de las órdenes de trabajo no se cumplen, porque estas tareas pueden haber sido completadas sin ser reportadas al sistema, el resto de los indicadores solo se podrán calcular desde la implementación de este proyecto.

### 5.3 ÍNDICES DE PROPORCIÓN DE TIPO DE MANTENIMIENTO

- Índice de mantenimiento programado: Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Programado sobre horas totales.

$$IMP = \frac{\text{Horas de mantenimiento programado (hr/hombre)}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento (hr/hombre)}}$$

- Índice de correctivo: Porcentaje de horas invertidas en realización de mantenimiento correctivo sobre horas totales.

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo (hr/hombre)}}{\text{Horas dedicadas a mantenimiento (hr/hombre)}}$$

- Índice de emergencias: Porcentaje de horas invertidas en órdenes de trabajo de prioridad máxima.

$$IME = \frac{\text{Horas órdenes de trabajo prioridad máxima (hr/hombre)}}{\text{Horas totales de mantenimiento (hr/hombre)}}$$


Estos indicadores solo se podrán conocer con certeza después de la implementación de este proyecto.

### 5.4 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con el fin de poder recolectar la información sobre las fallas de una manera efectiva, se crearon varios formatos digitales para realizar este proceso. Estas tablas facilitarán el uso y seguimiento de los indicadores de mantenimiento.

El primer formato es el registro de fallas (ver tabla 16), documento en el cual se documentan las fallas presentadas en los equipos, en el cada padrino llevara el registro de las fallas que presenten los equipos a su cargo. Los técnicos mecánico y eléctrico de turno también llevaran este registro. Este documento permitirá realizar un seguimiento de forma más rápida y eficaz al número y tipo de fallas que presentan los activos, también facilitaran la recolección de esta información por parte del programador para realizar el seguimiento de los indicadores de mantenimiento.


Tabla 16: Formato para registro de fallas

			Registro de fallas tren 2 laminación	
			Periodo:	
			Responsable:	
Fecha	Equipo	Descripción falla	Tiempo de parada (min)	Observaciones

Fuente: autor

El segundo formato (tabla 17) permite calcular de forma automática los indicadores de mantenimiento de clase mundial con solo ingresar los datos primarios: Horas de operación del equipo (HROP), número total de fallas (NTMC), tiempo del equipo no operativo debido a fallas (HTMC) y tiempo de mantenimiento no programado (HRMN). Se busca con este documento disminuir el tiempo de cálculo de estos indicadores.

Tabla 17: Formato para indicadores de clase mundial


	Indicadores de mantenimiento de clase mundial									
	Tren de laminación 2									
	Planeacion mantenimiento central									
	Enero - Junio									
Equipo	HROP	NTMC	HTMC	HRMN	TMEF	TMPR	DISP			
Horno Bendotti										
Cuarto eléctrico										
Subestación de gas										
Ventiladores aire combustión										
Mesa de carga										
Central hidráulica										
Lanza deshornadora										
Palpador laser										
Quemadores										
Camino de rodillos de salida										
Horno										
Intercambiador de calor										

Fuente: autor

El tercer formato, indicadores de gestión OT (ver tabla 18), facilita el seguimiento mes a mes de las ordenes de trabajo programadas, discriminar aquellas no

cumplidas y sus motivos, con el fin de plantear estrategias en búsqueda de la mejora en la realización de las tareas de mantenimiento.


Tabla 18: Formato para indicadores de gestión OT

	Indicadores de gestión de OT				
	Tren de laminación 2				
	Planeación mantenimiento central				
Indicador	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Órdenes generadas					
Órdenes finalizadas					
Órdenes pendientes por repuesto					
Órdenes pendientes por parada					
Órdenes pendientes por otras causas					
Órdenes de trabajo de emergencia					
Horas de trabajo pendiente					
Cumplimiento					
Retraso medio					

Fuente: autor

El cuarto formato, índices de proporción tipo de mantenimiento (ver tabla 19), permitirá visualizar la evolución mes a mes de la relación entre los tipos de órdenes de mantenimiento, y tomar acciones destinadas a mejorar estos indicadores.

Tabla 19: Formato para índices de proporción tipo de mantenimiento

	Índices de proporción de tipo de mantenimiento				
	Tren de laminación 2				
	Planeación mantenimiento central				
Indicador	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Mantenimiento programado					
Mantenimiento correctivo					
OT prioridad máxima					
IMP					
IMC					
IME					

Fuente: autor

En el *anexo I*, se encuentran los formatos digitales para el seguimiento de fallas, y los indicadores de mantenimiento tratados en este capítulo.

## 6. CONCLUSIONES

- El promedio de falla de los equipos es de 2,5 fallas/mes de los cuales la mayoría son fallas de tipo mecánico, generalmente asociadas a desajustes ocasionados por la vibración de los equipos
- El análisis de equipo crítico permite distinguir 35 equipos críticos y 75 sistemas y elementos críticos, esto debido a que la mayoría de estos funcionan en línea, es decir el fallo de un equipo repercute en el funcionamiento de los demás.
- Mediante el análisis de modos y efectos de fallo y la caracterización y evaluación del riesgo se logró encontrar que las fallas de los sistemas de lubricación son los que pueden llegar a generar el mayor impacto en la producción, ya que dejan elementos de alto costo y difícil reposición vulnerables a daños.
- Se determinó la limpieza de los bobinados y revisión de escobillas como las tareas principales para el mantenimiento eléctrico de los motores eléctricos del tren continuo y del tren de desbaste ya que son las actividades que previenen las fallas con mayor tiempo de reparación.
- Según la evaluación del riesgo de los modos de falla de los equipos no se encontró ningún modo de fallo con riesgo A (el más alto, con una puntuación entre 94 y 188) esto debido a que ningún modo de fallo con consecuencias graves o muy graves se presenta más de 3 veces al mes, y las que tienen una alta frecuencia de ocurrencia generan consecuencias leves o medias.
- Las nuevas rutas de mantenimiento se adecúan a las necesidades y capacidades el área brindando practicidad en su programación y ejecución.
- El seguimiento de los indicadores de mantenimiento a través de formatos digitales permite una mayor practicidad a la hora de analizar el desempeño de los planes de mantenimiento desarrollados



## **7. RECOMENDACIONES**

- Los planes de mantenimientos desarrollados atienden las necesidades específicas del tren 2 de laminación de la planta Tuta de Gerdau Diaco, y para su uso en otras plantas deben considerarse las necesidades particulares, los recursos y las fortalezas para la realización de ajustes y consideraciones.
- Las actividades de seguridad, como bloqueo y des-energización de los equipos, no se contemplan en el texto de las órdenes de mantenimiento, así como la puesta en marcha y el aseo del área de trabajo, ya que esto pertenece a las buenas prácticas de mantenimiento, las cuales se deben tener en cuenta para el desarrollo de todo tipo de actividad.
- Formatos como el registro de fallas deben usarse con regularidad ya que permiten ver las fallas que no detienen la producción pero que si reducen la vida útil de los equipos o pueden elevar los gastos de mantenimiento.
- Las estrategias de mantenimiento se encuentran en un formato de carga masiva para SAP, este formato prioriza la lectura general de la información con el fin de que la carga al sistema sea de forma rápida y eficaz, para ver en detalle los procedimientos de mantenimiento se debe ver en el cuadro de contenido de Excel teniendo seleccionada la celda del texto expandido.

## **8. LOGROS**

Con el desarrollo de este trabajo se puede afirmar que se consiguió:

- Crear planes de mantenimiento de fácil reporte por su bajo número de actividades, con la capacidad de ser ejecutados en paradas cortas.
- Brindar criterios para la priorización de actividades de mantenimiento en equipos y sistemas en caso de la reducción del tiempo destinado a mantenimiento.
- Generar herramientas de análisis de la ejecución y planificación del mantenimiento, las cuales permiten determinar planes de acción para mejorar las falencias que se presenten
- Realizar una proyección del tiempo que se requiere para ejecutar los trabajos de mantenimiento, con el fin de planear de manera más efectiva las paradas de mantenimiento, en busca de aumentar la disponibilidad de los equipos.
- Crear un registro que detalle las fallas de los equipos de una forma más organizada y detallada.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

AZOY CAPOTE, Andy. Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento. En: Ingeniería Agrícola. Vol. 4, No. 4 (Oct-Nov-Dic 2014) p. 45-49.

BARROS CHAPARRO, David Jesús; VALENCIA OCHOA, Guillermo y VARGAS HENRÍQUEZ, Lisandro. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. En: Scientia et Technica. Vol 19, No. 2 (Jun 2014); p. 200–208.

CANO SANCHEZ, Oscar. Propuesta para la implementación de RCM en la planta Diaco Muña. Bucaramanga, 2009, 132p. Trabajo de grado (Especialización en gerencia de mantenimiento). Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisiomecánicas.

CONCEPTODEFINICION. Definición de Matriz DOFA. [En línea]. Lugar de publicación desconocido. Publicado Septiembre 18, 2015. Revisado 24 de Septiembre de 2017 [Citado el 24 de Septiembre de 2017]. Disponible en internet: <http://conceptodefinicion.de/matriz-dofa/>

Documentación interna Gerdau Diaco.

GALVÁN ROMERO, Daniel. Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales. México, D. F., 2012, 108 p. Trabajo de grado (maestría en ingeniería optimación financiera). Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de maestría y doctorado en ingeniería.

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Indicadores de mantenimiento. {En Línea}. {20 de diciembre de 2016} disponible en: (<http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>).

GONZÁLES LOBO, Iván Gabriel. Diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para el circuito Colpatría B2. Sartenejas [Venezuela], 2012, 160p.

Informe de pasantía (Ingeniería eléctrica). Universidad Simón Bolívar. Coordinación de tecnología e ingeniería eléctrica.

LÓPEZ ARIAS, Ernesto. El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación. Bogotá, 2009, 136 p. Trabajo de grado Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

MORA GUTIERRES, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: Enfoque sistemático kantiano. Medellín: AMG, 2005. 309p.

RCM3. Qué es RCM3. [En línea]. Lugar de publicación desconocido. Revisado el 24 de Septiembre de 2017. [Citado el 24 de Septiembre de 2017]. Disponible en internet: <http://rcm3.org/que-es-rcm>

